

冬季土壤自然封冻始期 4 个品种芍药的花芽发育状态

艾云苾¹,刘爱青²,韩 婧¹,吴 婷¹,孙晓梅¹,刘 燕^{1*}

(1. 北京林业大学 园林学院,花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室,国家花卉工程技术研究中心,城乡生态环境北京实验室,北京 100083;2. 山东省菏泽市曹州牡丹园管理处,山东 菏泽 274400)

摘 要:为明确自然生长条件下芍药花芽感应低温的始期,以大田地栽的不同花型、不同花期 4 个品种芍药为研究对象,连续 2 a 观察其在北京地区冬季土壤自然封冻始期花芽所处的发育状态,对比其在山东菏泽地区 1 a 的分化状态,探讨不同品种可接受低温时花芽分化状态的规律性,为芍药生产栽培提供参考。结果表明,冬季土壤自然封冻始期芍药花芽发育状态与翌年花期相关,花芽分化程度越高,花期越早;与花型间无明显联系;芍药花芽处于雌蕊原基分化期时可感应低温,花期较晚的品种花芽处于雄蕊原基分化期时亦可感应低温。

关键词:芍药;花芽发育状态;自然入冬;感应低温

中图分类号:S718.43 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)03-0119-05

Floral Bud Differentiation Stage of 4 Peony Cultivars in the Initial Period
of Soil Naturally Frozen in Winter

AI Yun-bi¹,LIU Ai-qing²,HAN Jing¹,WU Ting¹,SUN Xiao-mei¹,LIU Yan^{1*}

(1. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100083, China; 2. Administrative Office of Caozhou Peony Garden, Heze, Shandong 274400, China)

Abstract: To clarify floral bud differentiation stage in the initial period of soil naturally frozen in winter, 4 field peony cultivars in different flower types and different flowering time were observed for their development states during the initial stage of soil naturally frozen. The experiments were conduct in Beijing for two consecutive years (2013—2014), and then the results were contrasted with the floral bud differentiation state observed in Heze for one year (2014), expecting to figure out the suitable floral bud differentiation acceptable to the chilling treatment in *Paeonia lactiflora* to provide guidance for the production and cultivation of herbaceous peony. The results showed that the floral bud conditions in the initial stage of soil naturally frozen were associated with flowering date of the next year; the early-flowering cultivars had the higher flower bud differentiation. No obvious correlation was observed among the cultivars with different flower types. All peony cultivars could be acceptable to the chilling treatment when in the formation of pistil primordia, late-flowering cultivars could also be acceptable to the chilling treatment when in the formation of stamen primordia.

Key words: herbaceous peony; floral bud differentiation stage; natural freezing; low temperature induction

芍药(*Paeonia lactiflora*)因花朵硕大,颜色艳丽,花型丰富,观赏特性及切花品质优良,在世界范围内广受欢迎,市场需求日益提高^[1-2]。我国山东菏泽、河南洛阳等地已形成商品性生产基地,然而,芍

收稿日期:2015-12-20 修回日期:2016-02-17
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAD12B02-01)。
作者简介:艾云苾,女,在读硕士,研究方向:现代花卉生产栽培技术。E-mail:ayb1224@163.com
* 通信作者:刘 燕,女,教授,博士生导师,研究方向:园林花卉栽培与应用。E-mail:chbly@sohu.com

药自然花期多集中在 4—6 月,花期持续时间仅 1~2 周^[3],远不能满足市场的需求,开展花期调控是解决此问题的有效方法^[4]。

芍药在其长期适应自然的生长过程中形成冬季休眠的特性,需要经过一定量的低温才能解除休眠。芍药花期调控需解决打破休眠问题^[5-8]。国内外学者针对打破芍药休眠的研究表明,因品种不同,芍药适宜冷藏时间在 7~13 周^[5-11]。最适需冷量研究发现,即使是低温积累适量,处理过早并不能成功解除休眠^[5,12],表明芍药花芽发育只有进行到某个特定阶段后才能感应低温作用^[13]。花芽发育状态直接影响低温处理的催花效果,常用品种‘大富贵’是最早可接受低温处理的花芽分化阶段^[6]。

为探讨芍药花芽分化可感应低温诱导的适宜发育状态,避免栽培环境对试验结果的影响,对大田地栽芍药花芽分化虽有研究^[14-18],但多集中于描述芍药花芽分化过程及各分化原基的时间,对入冬时节花芽所处分化状态未见报道。本研究选用大田地栽不同花型、花期不同的 4 个芍药品种,连续 2 a 观察其在北京地区冬季土壤自然封冻时花芽所处的发育状态,且对比同年其在山东菏泽的分化状态,旨在探讨不同品种可接受低温时的花芽分化状态的规律性,为芍药花期调控技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为‘红盘托金’(*Paeonia lactiflora* ‘Hongpan Tuojin’)‘奇花露霜’(*Paeonia lactiflora* ‘Qihua Lushuang’)‘莲台’(*Paeonia lactiflora* ‘Lian Tai’)‘天山红星’(*Paeonia lactiflora* ‘Tian-shan Hongxing’)等 4 个芍药品种,分别种植于北京小汤山国家花卉工程技术中心大田苗圃(39°N、116°E)和山东菏泽曹州牡丹园(35°N、115.7°E)。株龄 5~6 a,常规水肥管理。

1.2 方法

1.2.1 入冬时花芽发育状态观察 2013 年 11 月 21 日和 2014 年 11 月 27 日连续 2 a 在北京、2014 年 12 月 14 日在菏泽土壤自然封冻始期取芽。每品种随机选取长势一致的植株,在其根颈部随机选取来自不同的植株的饱满粗壮芽体 10 枚。擦拭干净后剥除外层鳞片,用 FAA 固定液(50%乙醇:100%乙酸:38%甲醛=90:5:5)及时固定处理 24 h 以上。常规石蜡切片技术包埋,用石蜡切片机(AO Reichert HistoStat 820)连续切片,切片厚度 8~10 μm,1%蕃红-0.4%固绿对染法染色,光学显微镜(Leica DM LS2)拍照观察。花芽发育状态用

处于不同分化阶段的花芽所占比率进行描述。

某分化阶段花芽比率/%=[处于某分化阶段花芽数/10(总取芽数)]×100 (1)

对花芽所处分化阶段的判断以肉眼可辨别出各原基结构的出现为标准(图 1),肉眼可辨花托盘上具有雄蕊原基的突起结构,视为处于雄蕊原基分化阶段(图 1e)。

1.2.2 大田花期及花型记录 翌年春天大田开花后记录花期(50%花开放的日期),同时记录花型。

2 结果与分析

2.1 4 个品种芍药土壤自然封冻时花芽分化情况

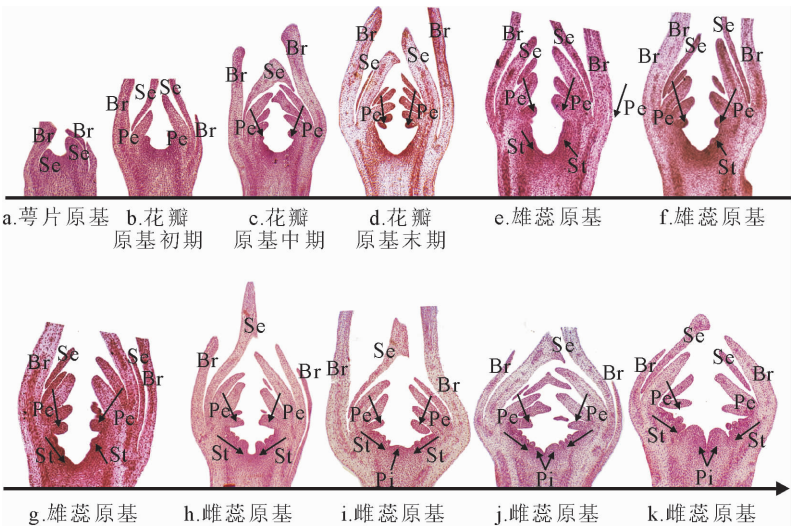
北京地区连续 2 a(2013—2014 年)及菏泽 1 a(2014 年)土壤自然封冻始期 4 个品种花芽分化状态的切片观察结果(图 2)表明,所有品种各年份各地区花芽均已进入雌蕊原基分化期。

将冬季土壤自然封冻始期花芽发育状态用不同分化阶段的花芽比率表示(图 3)可以看出,不同品种、同一年份、同一地区花芽发育状态不同。2013 年北京 4 个品种均进入雄蕊原基雌蕊原基分化阶段,但因品种不同雌蕊原基分化阶段所占比率在 50%~90%间不等。‘天山红星’分化较慢,有 50%处于雄蕊原基;2014 年北京 4 个品种均进入雄蕊原基雌蕊原基分化阶段,因品种不同雌蕊原基分化阶段所占比率在 30%~90%,‘天山红星’、‘莲台’分化较慢,花芽 50%~70%处于雄蕊原基分化阶段;2014 年菏泽‘红盘托金’、‘奇花露霜’等 3 个品种芍药均进入雄蕊原基雌蕊原基分化阶段,仅有 20%的花芽处于花瓣原基分化阶段,因品种不同雌蕊原基所占比例在 50%~80%。

不同年份、同一品种、同一地区、芍药花芽发育状态不同,但不同年份间其变化趋势不尽一致。北京地区的‘奇花露霜’与‘天山红星’2 品种,在 2013 年和 2014 年土壤自然封冻时花芽的发育状态一致,分别以 90%和 50%处于雌蕊原基分化阶段;‘红盘托金’2014 年较 2013 年雌蕊原基分化阶段所占比率高 20%;‘莲台’则低 30%。

不同品种、不同地区、同一年份花芽发育状态不同,不同地区间 4 个品种间的变化趋势不尽一致。2014 年土壤自然封冻时,菏泽的‘天山红星’与‘莲台’2 品种花芽分化程度高于其在北京的状态,而‘红盘托金’、‘奇花露霜’2 品种则低于在北京的发育状态。

冬季土壤封冻始期所有品种均已进入雌蕊原基分化阶段,不同品种、不同年份、不同地区达到该阶段的芽的比率数不同,除 2014 年北京的‘莲台’(仅



注:Br:苞片原基,Se:萼片原基,Pe:花瓣原基,St:雄蕊原基,Pi:雌蕊原基。

图 1 芍药花芽分化各阶段解剖示意图

Fig. 1 The anatomic diagrams of flower bud differentiation stages in herbaceous peony



注:A-D表示 4 个品种芍药成花结构。A. ‘红盘托金’;B. ‘奇花露霜’;C. ‘莲台’;D. ‘天山红星’;Ab13-Dh14 表示 4 个品种在北京 2a、菏泽 1a 入冬时花芽最高分化状态一均为雌蕊原基;Ab13-Db13 表示 4 个品种 2013 年在北京的分化阶段;Ab14-Db14 表示在北京 2014 年的分化阶段;Ab14-Dh14 表示 4 个品种芍药 2014 年在菏泽的分化阶段;Br 表示苞片原基,Se 表示萼片原基,Pe 表示花瓣原基,St 表示雄蕊原基,Pi 表示雌蕊原基。

图 2 芍药 4 个品种花型图及各年份各地区自然入冬时花芽分化最高状态

Fig. 2 The flower forms and the highest differentiation state of 4 *Paeonia* cultivars in early winter in different years and areas

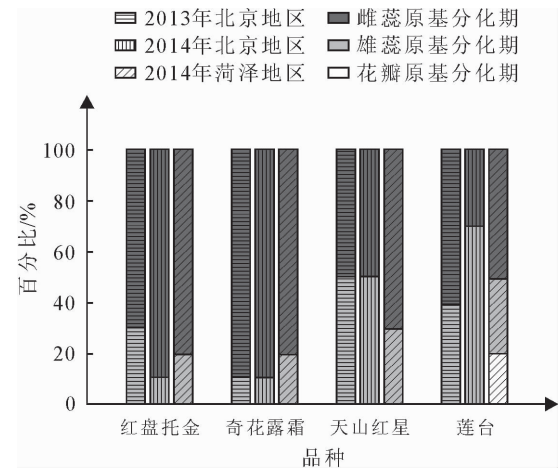


图3 土壤封冻时4个品种芍药花芽不同发育状况

Fig. 3 The statistical result of 4 *Paeonia* cultivars flower bud differentiation

有30%)外,其他品种在不同年份、不同地区达到雌蕊原基分化阶段的花芽数均达到50%~90%,其余花芽均处于雄蕊分化阶段(仅2014年菏泽地区的‘莲台’有20%处于花瓣原基阶段);‘天山红星’与‘莲台’2品种分化进程较慢,北京地区连续2a‘天山红星’50%的花芽处于雄蕊原基分化阶段,‘莲台’40%~70%的花芽处于雄蕊原基分化阶段。

2.2 土壤封冻时花芽分化状态与翌春花期的关系

对比4个品种芍药在土壤封冻时花芽发育状态及其翌年大田的开花情况(表1)可以看出,花芽发育状态与翌年大田花期密切相关,呈现入冬时花芽

分化程度越高,翌年大田花期越早。
2014年土壤封冻时北京、菏泽两地不同品种芍药花芽发育程度由高到低为‘红盘托金’>‘奇花露霜’>‘天山红星’>‘莲台’,而翌年大田花期由早到晚为‘红盘托金’>‘奇花露霜’>‘天山红星’>‘莲台’,两者呈现出相同的变化趋势。同时,以花型相同的‘奇花露霜’和‘莲台’(图2B,D)为例,花期较早的‘奇花露霜’花芽发育状态明显高于花期较晚的‘莲台’,表明芍药花芽发育状态越高,翌年大田花期越早。

2.3 冬季土壤自然封冻始期花芽分化状态与花型关系

据大田成花结构(图2A~D),从花型演化的角度判断,4个品种中,‘红盘托金’为最原始单瓣型品种,‘奇花露霜’‘莲台’为较高级的托桂型品种,‘天山红星’为最高级蔷薇型品种。结合4个芍药品种在土壤封冻时花芽发育状态及其翌年大田的成花花型(表2),可以看出两者间并无关联。

‘红盘托金’芍药在土壤封冻时花芽分化程度低于或接近‘奇花露霜’,花型比‘奇花露霜’低级;而‘红盘托金’土壤封冻时花芽分化程度高于‘莲台’‘天山红星’,花型也较2者处低级阶段。同时,花型均为托桂型的‘奇花露霜’‘莲台’土壤封冻时花芽分化程度差异明显,且花芽分化程度比高级花型的‘天山红星’一高一低,无规律。表明芍药土壤封冻时花芽分化程度与翌年大田成花花型并无明显联系。

表1 芍药4个品种土壤封冻时花芽发育状态及翌年大田花期

Table 1 The floral differentiation stages of the 4 *Paeonia* cultivars and the field flowering the net year

品种	北京地区 2013—2014 年		北京地区 2014—2015 年		菏泽地区 2014—2015 年	
	雌蕊原基所占比例/%	大田花期/(月-日)	雌蕊原基所占比例/%	大田花期/(月-日)	雌蕊原基所占比例/%	大田花期/(月-日)
‘红盘托金’	70	05-05	90	05-12	80	04-26
‘奇花露霜’	90	05-08	90	05-15	80	04-29
‘天山红星’	50	05-10	50	05-18	70	05-01
‘莲台’	60	05-16	30	05-20	50	05-09

注:除2014年菏泽地区栽培的‘莲台’品种外,其余品种在各年份各地区均处于雄蕊原基和雌蕊原基混合分化阶段,且主要处于雌蕊原基分化阶段。为方便表述,表中以雌蕊原基分化阶段所占比例表示入冬时花芽发育状态。

表2 芍药4个品种冬季土壤自然封冻始期花芽发育状态及翌年大田成花花型的关系

Table 2 The floral differentiation stages of the 4 *Paeonia* cultivars and the field flower types the next year

品种	北京地区 2013—2014 年		北京地区 2014—2015 年		菏泽地区 2014—2015 年	
	雌蕊原基所占比例/%	花型	雌蕊原基所占比例/%	花型	雌蕊原基所占比例/%	花型
‘红盘托金’	70	单瓣型	90	单瓣型	80	单瓣型
‘奇花露霜’	90	托桂型	90	托桂型	80	托桂型
‘天山红星’	60	托桂型	30	托桂型	50	托桂型
‘莲台’	50	蔷薇型	50	蔷薇型	70	蔷薇型

3 结论与讨论

冬季土壤封冻时花芽分化状态与花型无关,与花期具有一定的关系。早花品种在前一年土壤封冻花芽分化程度高,花芽 70%~90% 处于雌蕊原基分化阶段,其余花芽均处于雄蕊原基分化阶段;花期较晚的品种分化程度略低,入冬时花芽 50%~70% 处于雌蕊原基分化阶段,因年份地区不同雄蕊原基分化阶段所占比例达到 50%~70%。

通过人工进行低温处理可以有效地实现花卉促成栽培,如人工冷藏处理可实现朱顶红的春节、“五一”和国庆节期间供花^[19],而芍药需要在花芽达到一定的发育状态下才能感应低温作用。本研究将大田冬季土壤自然封冻时期视为地栽芍药接受自然低温处理的过程,则土壤初冻时芍药花芽发育状态即为芍药接受自然低温的发育状态。研究结果表明,大田地栽芍药在土壤封冻时多处于雌蕊原基分化阶段,与一些学者所观察到的芍药多以花瓣原基或是雄蕊原基分化期越冬^[14,17-18]不同,可能是由于研究者们采用的花芽分化阶段的划分标准及株龄不统一有关。王宗正^[14]采用的是株龄 10~15 a 的植物,花芽原基产生的末期以该品种的成熟器官的平均数为标准,本研究则是用处于各分化阶段花芽比率表示入冬时具体的花芽分化状态。

冬季土壤自然封冻时不同品种间花芽发育状态存在差异,花芽发育状态与来年大田花期相关,呈现出花芽分化程度越高,来年大田花期越早的趋势,与品种的花型无关,与大家文夫^[20]的研究一致。周逸龄^[6]曾观察北京大田地栽芍药花芽分化进程后,认为 4 个品种芍药的花芽分化进程与花期无相关性,与本研究结论不一致。土壤封冻时的花芽分化状态是可以接受低温的状态,它与早春花期可能并不是简单的线性关系,冬季低温、湿度及早春的温度气候条件对开花均有影响^[11,21-22]。因此,在花期调控过程中,前期低温处理打破休眠的过程和低温积累完成后温室促成栽培的过程应视为 2 个阶段,芍药低温积累完成后需要达到一定的花芽发育阶段才能开始感应加温诱导^[23]。本研究仅对芍药接受低温的花芽分化状态进行探讨,芍药低温积累完成后可接受加温诱导的花芽发育状态则需要进一步的研究。

‘大富贵’芍药冷库处理试验表明,处于萼片原基或花瓣原基的芍药即可开始接受低温处理^[6],可视为‘大富贵’最早可接受低温处理的花芽分化阶段。本研究观察到的处于自然越冬土壤封冻时花芽分化程度则视为大部分品种可接受低温处理的最安全状态,即花芽处于雌蕊原基时可以感应低温,晚

花品种花芽处于雄蕊原基时可以感应低温。综合而言,在芍药的促成栽培中,为了保证催花效果,可以将芍药花芽可接受低温处理的花芽发育阶段确定为 50% 花芽处于雌蕊原基阶段,晚花品种则可定为 50% 处于雄蕊原基阶段。

参考文献:

[1] 王历慧,郑黎文,于晓南. 中西方芍药切花应用与市场趋势分析[J]. 黑龙江农业科学,2011(2):147-149.
WANG L H,ZHENG L W,YU X N. Studies on the application and flora market trend of cut peonies in China and overseas[J]. Journal of Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011 (2):147-149. (in Chinese)

[2] 于晓南,苑庆磊,宋焕芝. 中西方芍药栽培应用简史及花文化比较研究[J]. 中国园林,2011(6):77-81.
YU X N,YUAN Q L,SONG H Z. Comparison on the cultivation and application histories of herbaceous peony and its flower cultures in China and western countries[J]. Chinese Landscape Architecture,2011(6):77-81. (in Chinese)

[3] 秦魁杰. 芍药[M],北京:中国林业出版社,2004.

[4] 吴婷,高健洲,赵志琴,等. 芍药设施栽培品种筛选[J]. 西北林学院学报,2014,29(3):145-150.
WU T,GAO J Z,ZHAO Z Q,*et al.* Selection of herbaceous peony cultivars under protected cultivation condition[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29 (3): 145-150. (in Chinese)

[5] KAMENETSKY R,BARZILAY A,HALEVY A H. Temperature requirements for floral development of herbaceous peony cv. ‘Sarah Bernhardt’[J]. Scientia Horticulturae,2003,97(3/4):309-320.

[6] 周逸龄. 芍药花芽分化与需冷量研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.

[7] YONG H R,HYUN H J,KI S K. Chilling requirement for breaking dormancy and flowering in *Paeonia lactiflora* ‘Taebaek’ and ‘Mulsurae’[J]. Hort. Environ. Biotechnol. ,2012, 53(4):277-282. .

[8] SU M Y,YONG H R,SEUNG Y L,*et al.* Dormancy release and flowering of *Paeonia lactiflora* ‘Taebaek’ by natural cumulative chilling and GA₃ treatment[J]. Hort. Environ. Biotechnol. ,2012,53(4):263-270.

[9] BYRNE T G,HALEVY A H. Forcing herbaceous peonies[J]. J. Amer. Soc. Hort. Sci. ,1986,111(3):379-383.

[10] AOKI N. Effects of chilling period on the growth and cut-flower quality of forced herbaceous peony[J]. Bull. Fac. Agr. Shimane Univ. ,1991,25:149-154.

[11] FULTON T A,HALL A J,CATLEY J L. Chilling requirements of *Paeonia* cultivars[J]. Scientia Horticulturae,2001, 89(3):237-248.

[12] HALEVY A H. Introduction of herbaceous peony as commercial cut flower in Israel(in Hebrew)[J]. Dapi Meida,1995,5: 58-62.

[9] 王孟昌,梁军,樊军锋,等. 主要杨树生产品种对溃疡病田间抗性的调查[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):122-123.
WANG M C,LIANG J,FAN J F,*et al.* Field investigation on resistance to canker of poplar variety[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(5):122-123. (in Chinese)

[10] 项存悌,齐成果,于振福,等. 杨树速生丰产林破腹病的研究[M]//项存悌,邵力平. 杨树病虫害综合防治技术. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992.

[11] 贾黎明,刘诗琦,祝令辉,等. 我国杨树林的碳储量和碳密度[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(2):1-7.
JIA L M,LIU S Q,ZHU L H,*et al.* Carbon storage and density of poplars in China[J]. Journal of Nanjing Forestry University,Natural Sciences,2013,37(2):1-7. (in Chinese)

[12] 李国会,吴丽娟,张友炎,等. 杨树伐桩嫁接与植苗林的生长及碳储量的比较[J]. 林业科学研究,2013,26(6):800-804.

[13] 方精云,陈安平,赵淑清,等. 中国森林生物量的估算:对 Fang 等 Science 一文(Science,2001,291:2320-2322)的若干说明[J]. 植物生态学报,2002,26(2):243-249.
FANG J Y,CHEN A P,ZHAO S Q,*et al.* Estimating biomass carbon of China's forests;Supplementary notes on report published in Science (291:2320-2322) by Fang *et al.* (2001) [J]. Acta Phytocologica Sinica,2002,26(2):243-249. (in Chinese)

[14] STETTTLER R F,BRADSHAW H D JR,HEILMAN P E,*et al.* Biology of *Populus* and its implications for management and conservation[M]. Ottawa:NRC Research Press,1996.

[15] DICKMANN D I,ISEBRANDS J G,ECKENWALDER J E,*et al.* Poplar culture in north America[M]. Ottawa:NRC Research Press,2001.

(上接第 123 页)

[13] LE N M,DE H. The physiology of flower bulbs[C]. Amsterdam:Holland,1993:617-682.

[14] 王宗正,章月仙. 从芍药的花芽分化试论芍药、牡丹的花型形成和演化[J]. 园艺学报,1991,18(2):163-168.
WANG Z H,ZHANG Y X. A discussion on the formation and evolution of flower type of tree and herb peony observing flower bud differentiation of herb peony[J]. Acta Horticulture Sinica,1991,18(2):163-168. (in Chinese)

[15] BARZILAY A,ZEMAH H R,KAMENETSKY R. Annual life cycle and floral development of ‘Sarah Bernhardt’ peony in Israel[J]. HortScience,2002,37(2):300-303.

[16] 何小弟,张远兵,王静,等. 芍药花芽形态分化的解剖学观察初探[J]. 安徽农业科学,2007,35(3):719-720,722.
HE X D,ZHANG Y B,WANG J,*et al.* Anatomic observation of flora bud of *Paeonia lactiflora*[J]. Journal of Anhui Agriculture Science,2007,35(3):719-720,722. (in Chinese)

[17] 黄凤兰,牛红云,孟凡娟,等. 芍药花芽分化过程的显微研究[J]. 东北农业大学学报,2009,40(3):57-61.
HUANG F L,NIU H Y,MENG F J,*et al.* Micro-study on flower bud differentiation of *Paeonia lactiflora* Pall. [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2009,40(3):57-61. (in Chinese)

[18] 吕长平,成明亮,莫宁捷. 长沙地区芍药花芽分化形态分化研究[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(2):142-144.
LV C P,CHENG M L,MO N J. Morphological differentiation of flower bud of *Paeonia lactiflora* in Changsha city[J]. Journal of Hunan Agricultural University:Natural Sciences,2009,35(2):142-144. (in Chinese)

[19] 原雅龄,李淑娟,赵锦丽. 朱顶红节日供花种球处理技术研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(6):80-82.
YUAN Y L,LI S J,ZHAO J L. Intensive culture of *Hippeastrum hybridum* for holidays[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(6):80-82. (in Chinese)

[20] 大冢文夫. 芍药的周年生产(日)[J]. 农耕及园艺,1979,54:789-794.

[21] HALL A J,CATLEY J L,WALTON E F. The effect of forcing temperature on peony shoot and flower development[J]. Scientia. Hort.,2007,113(2):188-195.

[22] 孙晓梅. 芍药容器苗生产技术研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.

[23] 吴婷. 芍药促成生产栽培关键技术研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.